

不同地理居群冰清绢蝶翅脉的几何形态学分析

郝祥瑜¹, 毛增辉¹, 任华², 陶瑞松^{3,4*}

(1. 安徽师范大学附属中学, 安徽芜湖 241000; 2. 安徽师范大学附属外国语学校, 安徽芜湖 241000; 3. 安徽师范大学生命科学学院, 安徽芜湖 241000; 4. 合肥师范学院生命科学学院, 安徽合肥 230601)

摘要 [目的]研究几何形态学方法在研究蝶类昆虫种内居群间分化的可行性和有效性。[方法]以冰清绢蝶为研究对象,对我国冰清绢蝶主要地理分布区的10个地理居群共200个体翅脉脉相的相关指标进行研究,利用三维数码显微镜共测量、分析前后翅共计17种脉相的几何形态学性状(包括翅脉长度、翅脉两点间线段长度、中室面积等),再利用SPSS 21.0软件对筛选出的有效性状进行了统计和聚类分析。[结果]冰清绢蝶10个地理居群的形态分化和它们的地理分布之间存在明显的相关性;安徽滁州琅琊山的居群在聚类树上的位置较为特殊,没能显示出与其地理分布间的明显关联性。[结论]几何形态学分析方法在蝶类的种内分化研究中是一种十分有效的辅助手段。

关键词 冰清绢蝶;地理居群;翅脉特征;几何形态学;系统分类

中图分类号 Q964 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)34-0084-05

Analysis of Geometric Morphology of Vein of *Parnassius glacialis* in Different Geographic Populations

HAO Xiang-yu¹, MAO Zeng-hui¹, REN Hua², TAO Rui-song^{3,4*} (1. High School Affiliated to Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000; 2. Foreign Language School Affiliated to Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000; 3. School of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000; 4. School of Life Sciences, Hefei Normal University, Hefei, Anhui 230601)

Abstract [Objective] The aim is to investigate the feasibility and validity of the method of geometric morphology in the study of the differentiation among populations of butterflies. [Method] With *Parnassius glacialis* as study object, related index of 200 individual venation in 10 geographic populations in major geographic regions were studied. Geometric morphological characters (including length of the venation, length of the line between two venation, area of the discal cell, etc.) of a total of 17 kinds of venation of forewings and hindwings were analyzed through three-dimensional digital microscope, and then SPSS 21.0 software was used to carry out statistical analysis and cluster analysis on the selected effective characters. [Result] There was a significant correlation between morphological differentiation and geographical distribution of the 10 geographic populations of the *Parnassius glacialis*; since the location of the cluster in the clustering tree on Langya Mountain in Chuzhou Anhui was special, thus there was not a clear correlation between the geographical distribution. [Conclusion] Method of geometric morphology analysis is a very effective auxiliary means in the study of intraspecific differentiation of butterflies.

Key words *Parnassius glacialis*; Geographic population; Vein characteristics; Geometric morphology; Systematic classification

在传统昆虫分类学中,昆虫的翅脉特征(脉相)是一个非常非常重要的分类学指标。翅脉特征不仅对昆虫的分类鉴定有重要意义,还可以应用于对昆虫的物种多样性、系统发生发育及昆虫在不良环境条件下所发生的变异程度的研究^[1]。

几何形态学(Geometric morphometrics)是关于形态定量比较的科学计算工具,是用数学方法描述或分析一个图像形状结构的方法。其研究方法多种多样,但在技术路线上都需要先将形态数据数字化,再比对不同的样本。通过比对可以计算出样本之间的形状和大小差距。这里的比对作用类似分子系统学研究中分子序列比对,意在找到样本之间的“同源信号”和“简约信息位点”。通过比对筛选出有效生物学性状,再用统计学的方法统计聚类。在国外,几何形态学方法已广泛应用于探讨生物的个体发育、种群分化、系统进化等多个方面,研究对象以大动物居多。在国内,仅用于昆虫的分类鉴定及远程自动识别研究中。目前,国内随着计算机图像处理技术的不断发展,以昆虫翅脉特征提取为核心技术的软件也日趋完善,图像数字化处理技术与传统昆虫形态学结合已经充分应用到昆虫种间的分类鉴定中^[1-5],但是运用几何形态学方法研究蝶类昆虫种内居群间分化国内外鲜有报道。

绢蝶属(*Parnassius*)是绢蝶亚科(Parnassidae)绢蝶族中

的一个属,物种繁多,广泛分布于古北界及新北界温带的高山地区,从巴基斯坦到中亚和中国,部分物种扩至到欧洲、日本及北美洲,因物种分布广,各地理因素如山脉、海洋、河流等导致物种隔离,继而演化出许多亚种^[6]。我国绢蝶资源丰富,据周尧《中国蝶类志》记载:全世界绢蝶有38种,仅我国就有35种124亚种。主要产于高山上,耐寒力强,仅少数种类分布在低海拔,寄主植物是景天科及紫堇、延胡索等。冰清绢蝶(*Parnassius glacialis* Butler)是分布在低海拔地区的绢蝶,也是我国江南分布的唯一一种绢蝶,这可能是第四纪冰期的遗留物^[7],主要分布在河南、山东、陕西、湖北、安徽、浙江、江苏、甘肃等地。寄主植物单一(寡食性),主食罂粟科紫堇属(*Corydalis edulis* Maxim)的延胡索(*Corydalis yanhusuo* W. T. Wang)和小药八旦子(*Corydalis caudata*)^[6,8-9]。其形态学特征:体黑色,披有黄色长毛,颈部有1轮黄色毛丛。翅色白而稍呈蜡黄,翅质薄而半透明,温润如丝绸,翅脉灰黑褐色。前翅亚外缘有1条褐色带纹。中室内和中室端各有1个黑褐色斑纹;后翅内缘的黑带较宽,上披黄色长毛(图1)^[7,10]。

生物地理学是生物学和地理学间的边缘学科,主要研究生物在时间和空间上的分布,并尝试分析和解释物种的地理分布为何呈现如今所见的格局。该研究尝试通过对不同地理居群冰清绢蝶翅脉特征的几何形态学计量,推测冰清绢蝶现有分布格局的形成机制,旨在为相关领域研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选取冰清绢蝶10个地理居群的标本(每一

作者简介 郝祥瑜(1999—),男,安徽芜湖人,从事蝴蝶的野外调查,并对我国主要地理区域的蝴蝶多样性进行研究。*通讯作者,副教授,从事动物生态学研究。

收稿日期 2017-10-25

居群随机抽样 20 个体), 涵盖了冰清绢蝶的大部分分布区, 具体的采样点信息如表 1 所示。野外采集的蝶类标本立即投入无水乙醇中(无锡市展望化工试剂有限公司)保存, 所取标本均来源于安徽师范大学生命科学学院分子系统学与进化研究室(-80 °C)样品库内。

1.2 标本处理 取出浸泡在无水乙醇中的蝴蝶, 用镊子夹取蝴蝶翅膀的基部, 使其完整地脱落, 待乙醇挥发完全, 在蝶翅下方置垫一小方块白纸, 便于与黑色翅脉形成反差; 其上盖上一载玻片, 将蝶翅压平, 放入基恩士 VHX-5000 三维数码显微镜(日本)中观察测量(分辨率 2400DPI)。

1.3 图像获取 利用基恩士 VHX-5000 三维数码显微镜的图像拼接技术对图像进行采集, 形成一张完整的蝴蝶全翅图片, 在该数码显微镜的测量工具中, 利用鼠标多点连线或两点间连线描摹出翅脉的纹路并且勾勒出所需测量的翅脉



图 1 冰清绢蝶形态

Fig.1 Morphological map of *P. glacialis*

表 1 10 个地理居群冰清绢蝶采样点信息
Table 1 Sample site details for ten populations of *P. glacialis*

序号 No.	采样点 Sampling site	采集日期 Collection date	抽取标本量 Extracting sample size	地理坐标 Geographical coordinate
1	江苏南京	2011-05-05	20	118.83°E, 32.06°N
2	江苏连云港	2011-05-01	20	119.40°E, 34.71°N
3	安徽天堂寨	2009-04-29	20	115.80°E, 31.20°N
4	陕西黄柏塬	2013-06-08	20	107.40°E, 33.73°N
5	浙江天目山	2012-05-03	20	119.45°E, 30.34°N
6	山东泰山	2013-05-10	20	117.12°E, 36.25°N
7	甘肃天水	2013-06-12	20	105.68°E, 34.85°N
8	安徽琅琊山	2013-05-05	20	118.29°E, 32.28°N
9	湖北神农架	2014-05-07-10	20	110.35°E, 31.52°N
10	河南嵩山	2016-05-05	20	113.05°E, 34.49°N

长度和面积, 即可进行测量。前翅共测得 13 组数据, 后翅共测得 4 组数据(精度为 1 μm 或 1 μm^2), 保存拍摄图片以及测量结果生成扩展名为 .csv 的文件, 利用 VHX Measurement Data Tabulation Tool 软件将数据导出至 Excel 表格中。

1.4 数据分析 在 Excel 表格中, 整理和统计 10 个居群共 200 个绢蝶所测得的翅脉长度和面积, 并求出均值, 对翅脉长度、蝶翅中室面积、全翅面积等性状进行统计分析, 利用 SPSS 21.0 软件分别对各组数据进行初步系统聚类, 筛选出聚类结果相同的一些性状, 舍弃部分不适合聚类分析的性状, 最后对筛选出的性状进行统计和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 10 个冰清绢蝶地理居群的翅脉形态学特征平均值 分别取 10 个地理居群各 20 个体冰清绢蝶, 测量前翅 11 组长度数据、2 组面积数据; 测量后翅 2 组长度数据、2 组面积数据(图 2)。求得前后翅翅脉形态学特征平均值(表 2、表 3), 表 2 为前翅翅脉数据, 表 3 为后翅翅脉数据。根据 Excel 文档求出 P 值结果小于 0.05, 表示各特征值的不同均由不同居群的冰清绢蝶的形态差异引起。

从表 2 可以看出, 南京、连云港、天堂寨、天目山的冰清绢蝶翅面积较大, 各翅脉长度相对较长。利用 SPSS 21.0

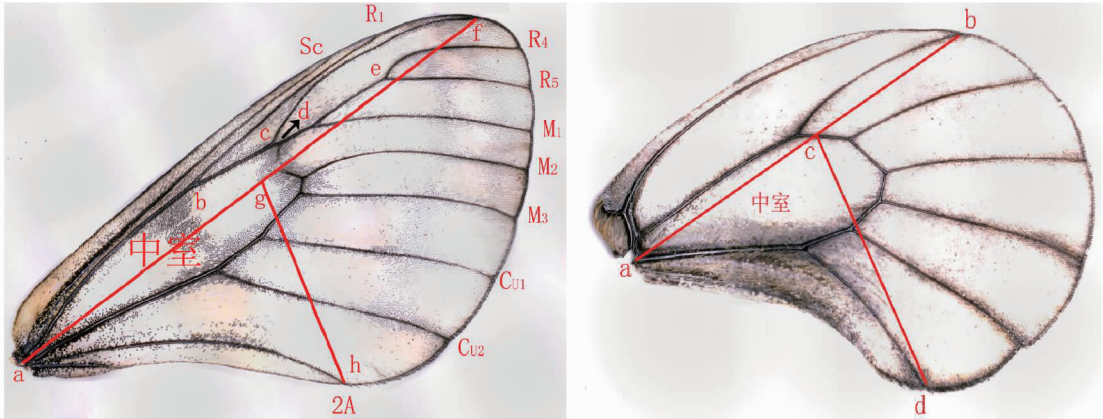
对前后翅共计 17 组数据进行聚类分析, 并一一比对, 选出聚类分析较为相似的数据共 10 组, 即为有效性状。

2.2 10 个冰清绢蝶地理居群的聚类分析树状图 利用 SPSS 21.0 再将 10 组有效性状(前翅分别为 ab 、 R_1 、 R_5 、 M_1 、 Cu_2 、 $2A$ 、 af 、中室面积; 后翅分别为 ab 、中室面积)进行聚类分析, 绘制出树状图, 从树状图得出结论: 冰清绢蝶的演化划分为两支, 共聚为两大类, 一类分为天堂寨、天目山、南京、连云港 4 个地理居群, 另一类分为泰山、嵩山、琅琊山、天水、黄柏塬、神农架 6 个地理居群。即天堂寨、天目山、南京、连云港这 4 个地理居群的冰清绢蝶亲缘关系较近, 而泰山、嵩山、琅琊山、天水、黄柏塬、神农架 6 个地理居群的冰清绢蝶亲缘关系较近(图 3)。

2.3 冰清绢蝶演化路径推测图 根据聚类树状图绘制成冰清绢蝶演化路径的推测图(图 4)。地质学资料显示, 大约 6 000 万年以前, 印度板块和亚欧板块碰撞导致的造山运动逐渐形成了青藏高原, 包括喜马拉雅山脉^[11]。同时, 相关的分子系统学和分子钟研究推测, 距今 2 000 万 ~ 3 000 万年前, 绢蝶物种的祖先在我国西南地区(现今藏东南的横断山脉一带)开始形成^[8], 其时, 它们已产生了一些适应高海拔环境的特性, 如翅膀被毛、耐寒冷、耐低氧等等, 随着绢蝶属的分

化和物种之间的竞争,以及中新世以后,特别是第四纪期间全球气候变化的影响,冰清绢蝶开始向华中、华北、华东地区迁移,形成2支演化路径:第一支由喜马拉雅山脉经过唐古拉山、巴颜喀拉山,到达位于秦岭的天水、黄柏塬一带,再分为三支,途经华北平原分别向泰山、嵩山、琅琊山3个方向

迁移;第二支由喜马拉雅山脉发源,向东迁移经过秦岭、四川盆地到达天堂寨、南京、天目山等地,最后沿海岸线扩散至连云港一带。成为我国唯一一种分布到长江以南,生活在较低海拔地区的绢蝶,且对生活环境的要求极为苛刻^[7,12-13]。



注:左,前翅;右,后翅
Note:left, forewings;right, hindwings

图2 冰清绢蝶翅交点位置分布

Fig.2 Distribution of the vein junctions on forewings and hindwings

表2 10个地理居群冰清绢蝶前翅脉形态学特征平均值

Table 2 Average distances between two related junctions from left-forewings in ten populations

序号 No.	地区 Area	中室面积 Median cell area μm ²	全翅面积 Wing area μm ²	Sc μm	ab μm	R ₁ μm	bc μm	de μm	R ₄ μm	R ₅ μm	M ₁ μm	Cu ₂ μm	2A μm	af μm
1	江苏南京	79 097 950	512 958 635	27 969	15 076	15 798	6 356	7 827	9 453	9 604	14 331	15 236	20 807	35 806
2	江苏连云港	75 535 418	461 392 131	26 222	14 556	14 745	5 655	6 619	10 194	1 0095	13 431	14 203	19 518	34 329
3	安徽天堂寨	80 678 170	502 729 246	27 886	14 809	15 842	6 393	7 158	10 311	10 181	13 903	14 752	19 907	35 862
4	陕西黄柏塬	69 103 127	436 490 081	26 084	13 680	15 076	6 036	6 698	9 385	9 368	12 450	13 760	18 985	33 456
5	浙江天目山	79 277 011	474 916 285	26 743	14 610	15 323	6 178	6 450	9 646	9 774	13 406	14 261	19 157	34 347
6	山东泰山	70 204 164	443 461 663	25 097	13 702	14 455	5 985	6 642	9 337	9 411	12484	13 700	18 307	32 741
7	甘肃天水	71 899 058	449 518 361	26 344	14 018	14 935	5 995	6 655	9 663	9 363	12504	13 955	18 849	33 713
8	安徽琅琊山	68 786 897	441 266 415	25 661	13 786	14 571	5 586	7 167	9 286	9 485	13 396	14 177	18 851	32 985
9	湖北神农架	67 560 787	433 908 146	26 380	14 654	14 581	5 404	6 663	9 338	9 426	13 071	14 184	19 931	33 462
10	河南嵩山	68 035 854	428 151 714	24 217	13 435	14 276	5 763	6 649	9 239	9 511	12 783	13 561	18 434	32 213

表3 10个地理居群冰清绢蝶后翅脉形态学特征平均值

Table 3 Average distances between two related junctions from left-hindwings in ten populations

序号 No.	地区 Area	ab μm	cd μm	中室面积 Median cell area	全翅面积 Wing area
1	江苏南京	25 394	16 276	69 996 228	444 529 813
2	江苏连云港	24 172	14 780	63 192 952	393 275 400
3	安徽天堂寨	25 279	15 223	66 969 326	434 725 131
4	陕西黄柏塬	23 124	14 567	57 916 839	369 232 093
5	浙江天目山	24 631	15 340	67 012 411	412 263 624
6	山东泰山	23 192	14 395	56 853 332	374 894 344
7	甘肃天水	23 594	14 395	59 670 751	377 557 913
8	安徽琅琊山	23 683	14 698	56 607 978	376 142 857
9	湖北神农架	22 804	14 114	54 779 882	348 904 919
10	河南嵩山	22 839	14 218	57 192 811	359 625 240

3 结论与讨论

安徽天堂寨位于大别山区,是南北水系的分水岭,属大

别山系,地质基础为前震旦纪的秦岭褶皱带,后期受燕山期造山运动的显著影响;浙江天目山和江苏南京紫金山总体上

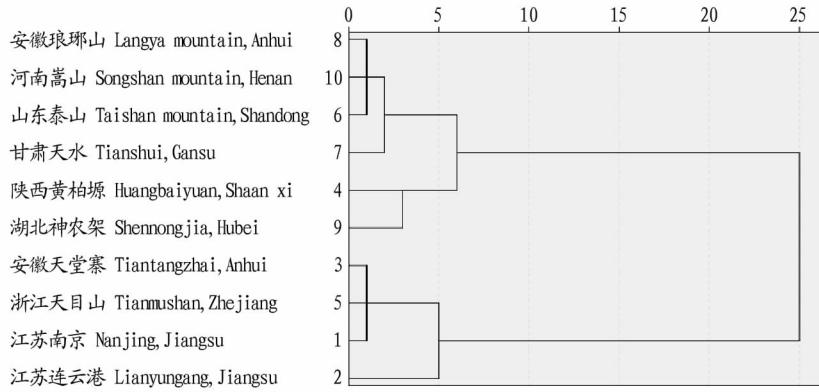


图3 冰清绢蝶 10 个地理居群的聚类分析树状图

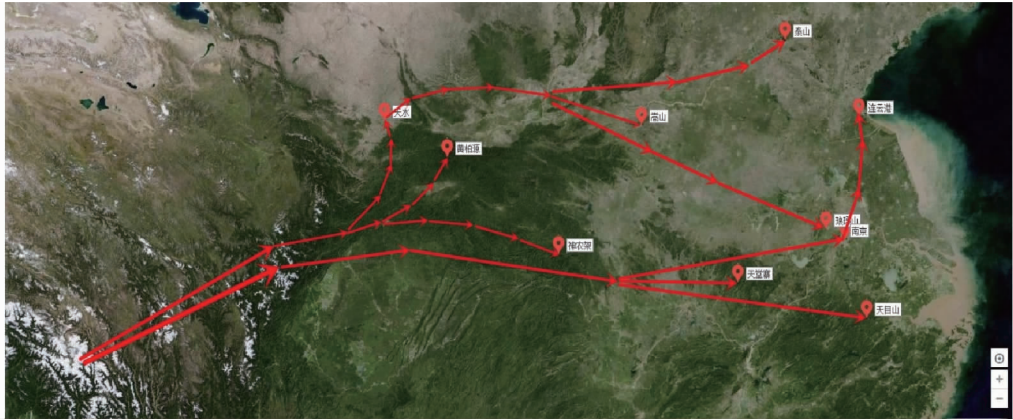
Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis among ten populations of *P. glacialis*

图4 推测的冰清绢蝶扩散路径图

Fig. 4 Presumed diffusion path of *P. glacialis*

属于宁镇山脉,是侏罗纪末至白垩纪初期,通过宁镇山脉造山运动形成的一条向北突出的弧形褶皱;江苏连云港云台山的地质基础则属于华北古陆构架。这些古地质事件形成的山脉后来都经过频繁的地质变化过程,最终形成了现在的地质地貌。

甘肃天水属小陇山系,为秦岭的西北缘;陕西黄柏塬地为秦岭腹地;湖北神农架属大巴山系,河南嵩山属伏牛山系,它们都是秦岭造山带的余脉;山东泰山构造基础为古华北地带,后来经漫长而又复杂的演化过程才形成今天的地貌;安徽琅琊山为江淮之间的低山丘陵地带,系大别山系向东延伸而成的余脉。

总体而言,上述地质过程,包括较晚近的燕山运动时期(在地史上主要属于侏罗纪末到古近纪初这段时期,距今2亿1千万年左右开始至6500万年前为止)相对于绢蝶种群的分化时期而言(据分子钟推测为350万前至30万年前),是一个十分古老的时期,因而,这些地质因素对冰清绢蝶的扩散无关。

综合多方面证据分析,笔者推测,冰清绢蝶不同居群间的扩散路径与其地理分布(相关山脉分布、走向及地理隔离等)之间有明显的相关性,即地质历史上,第四纪开始至今的地质、生物环境和气候变化因素对冰清绢蝶的扩散路径和现代地理分布产生了重要影响^[8,11]。譬如,第一进化支(天堂寨、天目山、南京、连云港4个地理居群)各居群的生态环境

极为相似,均位于华北平原与长江中下游平原地带,海拔较低,降水丰富,属于亚热带季风气候与温带季风气候交界处;而第二进化支(黄柏塬、神农架、天水、嵩山、泰山5个地理居群)的生态环境类似,海拔相对较高,气温也相对较低,地处内陆,降水相对较少。至于安徽琅琊山的居群,单从地理因素考虑,理论上应属于第一进化支,从而支持安徽师范大学生命科学学院分子系统学与进化研究室利用分子手段分析的结果。但从形态上看,琅琊山居群确实很特殊(如后翅基部较大范围明显的黑色斑块,体毛为灰白色),且和嵩山或泰山等高纬度地区的居群极为相似。推测这有可能受其寄主植物及采蝶时(2013年4月29日)当年的气候影响,因为不同气候(如阴雨、干旱、季节变化等)、寄主植物均影响蝶类个体发生和发育^[12,14-17]。

研究冰清绢蝶寄主植物和气象的相关资料,结果表明,延胡索是琅琊山冰清绢蝶的唯一寄主植物,且大都分布在琅琊山寺附近高海拔地区(海拔200~300m),蝶类对寄主植物专一性较强,虽然它们有一定的迁飞能力,但其分布仍然以寄主为中心^[12-13,18-19]。据文献记载,延胡索琅琊山居群的6种主要异喹啉生物碱含量在河南、安徽、浙江、江苏、江西等12个居群中大都高于其他居群,尤其是紫堇碱含量最高(0.44%),比含量最低的江西宜兴大滩岭居群(0.024%)高达近20倍,又因延胡索对环境要求很严,对于低洼易积水及水分较少的干旱地段均不适合延胡索的生长,其生长期仅有

3个月,一般分布在海拔200~800m的丘陵山区的半阴坡,系早春植物^[20];同时,安徽滁州气象站提供气象资料和中央气象局数据库数据显示,琅琊山地区2013年3、4月降水量均为18.4mm,与近30年同期均值相比,偏少7成;日照均为240h,与常年相比偏多4成,整体气候近为春旱,冰清绢蝶与其寄主植物休戚相关。所以,琅琊山居群独特的翅脉形态特征可能与其寄主植物和当地的气候条件等都有密切关系。

参考文献

- [1] 蔡小娜,韩旭,沈佐锐,等.基于蛾翅翅脉特征的夜蛾昆虫数字化分类研究(鳞翅目:夜蛾科)[J].环境昆虫学报,2016,38(2):348-353.
- [2] GE D Y, XIA L, LV X F, et al. Methods in geometric morphometrics and their applications in ontogenetic and evolutionary biology of animals[J]. Acta zootaxonomica sinica, 2012, 37(2): 296-304.
- [3] 蔡小娜,高灵旺,黄大庄,等.利用翅的数学形态特征对蛾类昆虫进行分类鉴定的系统研究II——在总科级阶元上的应用[J].中国农业大学学报,2013,18(5):96-103.
- [4] 潘鹏亮,杨红珍,沈佐锐,等.翅脉的数学形态特征在蝴蝶分类鉴定中的应用研究[J].昆虫分类学报,2008,30(2):151-160.
- [5] 潘鹏亮,沈佐锐,杨红珍,等.三种绢蝶翅脉数字化特征的提取及初步分析[J].动物分类学报,2008,33(3):566-571.
- [6] 周尧.中国蝶类志[M].郑州:河南科学技术出版社,2000:191-193,199,783.
- [7] 吴琦.冰清绢蝶(上)[J].大自然,1998(3):17-20.

- [8] 丁亮,张彦周,朱朝东.锯凤蝶类和绢蝶类(鳞翅目,凤蝶科)分类地位及系谱关系初探[J].动物分类学报,2007,32(2):355-362.
- [9] KATO H, T, CHICHVARKHIN A, YAGI T, et al. Phylogeny and evolution of butterflies of the genus *Parnassius*: Inferences from mitochondrial 16S and ND1 sequences [J]. Zoological society, 2005, 22(3): 343-351.
- [10] 吴琦.冰清绢蝶(下)[J].大自然,1998(4):19-23.
- [11] 马铁山,郝改莲,刘殿锋,等.中国凤蝶科昆虫地理分布的聚类分析[J].昆虫知识,2009,64(4):615-619.
- [12] 诸立新,颜劲松,郑和权,等.安徽琅琊山蝶类季节变化的研究[J].滁州师专学报,2003,5(4):95-97.
- [13] 张起玉,申卫星,李艳,等.泰山蝶类物种多样性及区系分析[J].山东林业科技,2011,41(3):29-32.
- [14] 郝祥瑜,徐霞,孙祯,等.我国主要地理区域蝴蝶多样性的研究性学习[J].中学生物学,2015,31(6):36-38,39.
- [15] 许国权,段海生,刘亦仁.大别山主峰天堂寨地区蝶类资源及区系组成研究[J].湖北大学学报(自然科学版),2010,32(3):330-334.
- [16] 李朝辉,赵清良,殷宁,等.南京紫金山地区鳞翅目蝶类种类分布及其季节性变化[J].四川动物,2001,20(2):76-78.
- [17] 张如力.甘肃省绢蝶属的种类及区系[J].草业学报,2005,14(1):49-52.
- [18] 诸立新,吴孝兵,欧永跃.天目山北坡蝶类资源和区系[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2006,29(3):266-271.
- [19] 涂清芳.琅琊山风景区野生观赏植物资源调查及评价[D].南京:南京林业大学,2012.
- [20] 许翔鸿,余国奠,王峰涛.野生延胡索种质资源现状及其质量评价[J].中国中药杂志,2004,29(5):399-401.

(上接第55页)

势,河流面积以5.45 km²/a的速度增长,库塘面积以0.58 km²/a的速度增长;1990—2000年湖泊面积处于增加趋势,2000—2007年呈减少趋势,总体来说,1990—2007年呈减

少趋势;1990—2007年河滩面积处于减少趋势,以4.86 km²/a的速度减少。综合来看,成都平原湿地资源总和大致呈现增加趋势,1990—2000年处于快速增加趋势,2000年之后趋于平稳,有较小幅度减少。

表3 1990、2000、2007年成都平原湿地资源面积情况

Table 3 Area of wetland resources in Chengdu plain in 1990, 2000 and 2007

年份 Year	河流 Rivers	湖泊 Lake	库塘 Pond	河滩 Flood	总计 Total
1990	202.71	78.62	35.71	170.72	487.76
2000	248.81	82.99	40.13	146.76	518.69
2007	295.36	75.61	45.64	88.01	504.62

4 结论

该研究利用3S技术及其他辅助监测设备进行湿地资源调查,收集前人有关资源环境方面的研究成果,为成都平原湿地资源动态监测与评价提供间接资料。针对不同湿地类型进行现状及动态变化特征分析,掌握了成都平原湿地资源的动态变化、湿地资源的受破坏状况和威胁状况,为成都平原湿地保护和合理利用规划提供了可靠依据。结合1990、2000和2007年TM/ETM+影像,基于MNDWI进行成都平原湿地信息提取,在此基础上,对成都市区湿地面积增减进行了定量分析,对湿地空间变化进行了定性分析,可为政府相关部门提供决策依据。在该研究中,卫星遥感技术宏观性、动态性的优势得到了充分体现,利用该技术不仅可以避免利用传统手段获取数据困难的问题,而且大大节约了人

力、财力和物力。

参考文献

- [1] 杨永兴.国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J].地理科学进展,2002,21(2):111-120.
- [2] 吕宪国.湿地生态系统保护与管理[M].北京:化学工业出版社,2004:7.
- [3] 李炳玺,谢应忠,吴韶寰.湿地研究的现状与展望[J].宁夏农学院学报,2002,23(3):61-67.
- [4] 杨永兴.国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望[J].地球科学进展,2002,17(4):508-514.
- [5] 余国营.湿地研究的若干基本科学问题初论[J].地理科学进展,2001,20(2):177-183.
- [6] 徐涵秋,陈本清.厦门市植被变化的遥感动态分析[J].地球信息科学,2003,5(2):105-108.
- [7] 梅安新,彭望球,秦其明.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001:245-247.